

MODELADO NUMÉRICO DEL AVANCE DE LAS OLAS DEL TSUNAMI POR EL CAUCE DEL RÍO CAMANÁ

NUMERICAL MODELING OF TSUNAMI WAVES BY CAMANÁ RIVERBED ADVANCE

MARTÍNEZ J. & TAVERA H.

RESUMEN

En el presente estudio se propone el escenario de generación, propagación e inundación ocurrido en el río Camaná a consecuencia del tsunami producido el 23 de junio del 2001. Este tsunami, de carácter local, afectó principalmente el área costera de la ciudad, con inundaciones hasta una distancia de 700 m tierra adentro, siendo mayor a lo largo del cauce del río Camaná con aproximadamente 1.5 km. Empleando el algoritmo TUNAMI-N2 se realizó el modelado numérico y se obtuvo parámetros como tiempos de arribo de las olas, *run-up* o máxima altura de inundación, mareogramas sintéticos y el mapa de inundación. Asimismo, se realizó la comparación entre los resultados obtenidos y lo observado *in situ*, tras el tsunami, obteniéndose gran similitud. Según el modelo numérico, la inundación a lo largo del cauce del río fue de 1.6 km y en la costa las olas habrían alcanzado alturas de 7.5 m. El mareograma sintético obtenido, es similar al registrado en el mareógrafo de Mataraní, con lo cual se validan los resultados obtenidos. El procedimiento empleado puede ser generalizado para posibles escenarios en la costa peruana. Esta información es de utilidad para las autoridades a efectos de realizar la gestión del riesgo correspondiente.

Palabras clave: tsunami, modelo numérico, Camaná 2001.

ABSTRACT

This study proposes the scenario of generation, propagation and flooding that occurred in the Camaná river, due to the tsunami on June 23, 2001. This tsunami, of local character, mainly affected the coastal area of the city, causing flooding up to a distance of 700 m inland, with more flooding occurring along the Camaná Riverbed (about 1.5 km). Numerical modeling was performed using the TUNAMI-N2 algorithm and parameters were obtained including wave arrival time, "run-up" or maximum flood height, synthetic marigrams and a flood map. Furthermore, comparison was made between the results obtained and those observed in situ, after the tsunami, showing high similarity. According to the numerical model, the flood along the river channel was 1.6 km and coastal waves would have reached heights of 7.5 m. The synthetic marigram obtained is similar to that recorded in the Mataraní tide gauge, thereby validating the results. This procedure can be replicated in other locations on the Peruvian coast, providing useful information to authorities for use in risk management plans.

Keywords: tsunami, numerical model, Camaná 2001.

Introducción

El 23 de junio del 2001, a las 15:33 hora local (20:33 UTC) un terremoto de magnitud 8.4 Mw remeció toda la región del sur del Perú, produciendo intensidades máximas de VIII en la escala de Mercalli Modificada en

la localidad de Camaná. Luego de quince minutos aproximadamente, se generó un tsunami que con olas de ocho metros aproximadamente destruyó el balneario de Camaná con un saldo de 24 personas muertas, 62 desaparecidas y cuantiosas pérdidas materiales (Instituto Nacional de Defensa Civil). En toda la zona sur el costo

total de los daños se estima en US\$ 311 millones, (Transportes US\$ 28.2 millones, Vivienda US\$ 26.7 millones, Energía y Minas US\$ 24 Millones, Economía US\$ 47.5, Educación US\$ 11.5, entre otros). Un total de 169 hospitales y centros de salud fueron dañados o destruidos en la región, con un costo estimado en reparación de US\$ 18 millones (Shoaf *et al.*, 2003).

En tal contexto, se empleó el modelo numérico TUNAMI-N2 para realizar la simulación numérica del tsunami y obtener parámetros tales como tiempos de arribo, *run-up* o máxima altura de inundación, mareogramas sintéticos y un mapa de inundación, los cuales serán de utilidad para efectos de mitigación del riesgo por parte de las autoridades correspondientes.

Resultados

Área de estudio

La provincia de Camaná se ubica en la parte centro occidental de la región Arequipa a 172 km de la capital del departamento de Arequipa, y tiene alrededor de 56 mil habitantes. Predomina como actividad económica la agricultura. Limita por el norte con la provincia de Condesuyos, provincia de Castilla, provincia de Arequipa (San Juan de Siguan), por el noroeste con la provincia de Caravelí y Atico, por el sur con el océano Pacífico, por el este con la provincia de Islay (véase Figura 1).



Figura 1. Ubicación satelital de la zona de Camaná.

Los parámetros hipocentrales obtenidos por el Instituto Geofísico del Perú (IGP) se muestran a continuación en la Tabla 1.

TABLA 1
PARÁMETROS HIPOCENTRALES (IGP)

Fecha	23 junio 2001
Hora Origen	15h 33m
Latitud	16.20° S
Longitud	73.75° W
Profundidad	29 km.
Magnitud	8.4 Mw
Intensidad	VIII en Ocoña, Camaná
Localización	82 km. al NW de Ocoña (Arequipa)

Datos y selección de los dominios de integración

Para modelar las zonas de inundación por tsunami se necesitan los siguientes datos:

- Batimetría global:** Para simular las grillas más grandes donde se propaga el tsunami. Los datos son tomados del modelo Etopo1, con una resolución de 1.6 km.
- Batimetría local:** Estos datos de batimetría fina se obtienen a partir de sondajes realizados en la zona, proporcionados por la DHN, a una resolución 30 m.
- Topografía local:** Para modelar la inundación producida por el tsunami. Se toman datos de la topografía satelital del ASTER-GDEM con una resolución de 30 m.

Con todos estos datos se obtiene un modelo de elevación digital (MED), y se procede a elaborar 4 grillas anidadas: A, B, C y D (véase Figura 2). Donde la grilla A es la más grande y contiene al área de ruptura. La grilla D es la más pequeña, pero los datos son más densos debido a que contiene la región donde se evaluara la inundación. Los límites de las grillas se muestran en la Tabla 2.

TABLA 2
COORDENADAS DE LAS GRILLAS

	Sur (°)	Norte (°)	Oeste (°)	Este (°)
Grilla D	-16.7500000	-16.5800000	-72.7940000	-72.6765000
Grilla C	-17.0008333	-16.2508333	-73.1498333	-72.3998333
Grilla B	-18.0008333	-15.9983333	-73.9998333	-71.9973333
Grilla A	-25.0058333	-10.9658333	-83.0073333	-68.9673333

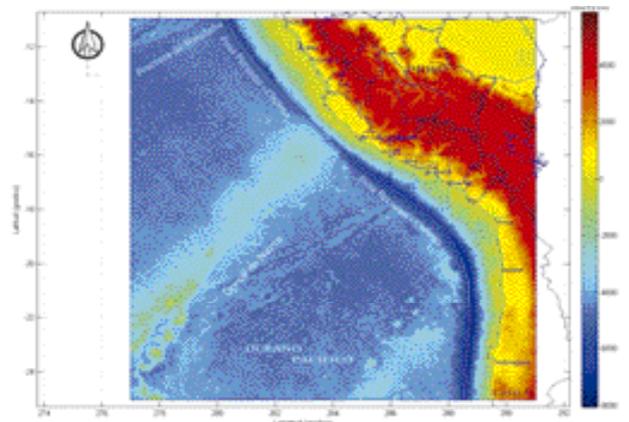


Figura 2. Representación de las grillas anidadas para el presente modelo.

- Datos sísmicos:** Se realizó el estudio y el modelado de la fuente sísmica en base a las observaciones hechas posismo. Este será un dato de entrada del modelado numérico de tsunami (véase Tabla 3 y Figura 3).

TABLA 3
PARÁMETROS DE LA FUENTE EMPLEADA

Magnitud (Mw)	Strike angle	Dip angle	Slip angle	Length (km)	Width (km)	Slip (km)	Top depth (km)
8.4	310°	18°	63°	270	95	4.0	29.6

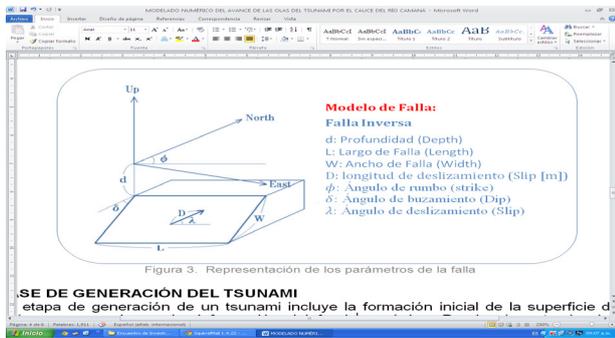


Figura 3. Representación de los parámetros de la falla.

Fase de generación del tsunami

La etapa de generación de un tsunami incluye la formación inicial de la superficie del océano provocado por la deformación del fondo oceánico. Desde el punto de vista físico, un tsunami es generado por el movimiento súbito del fondo marino debido al sismo y generalmente están asociados a ondas de longitud mayor que la profundidad (véase Figuras 4 y 5).

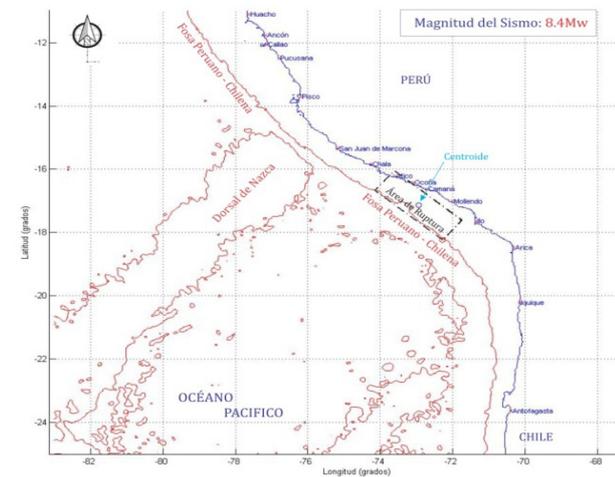


Figura 4. Área de ruptura.

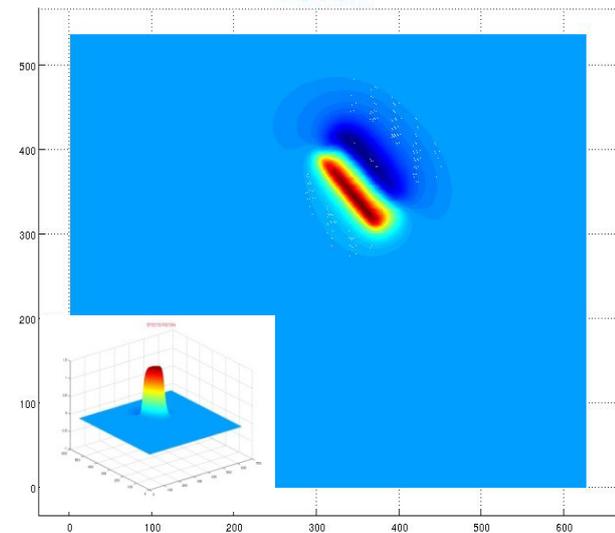


Figura 5. Dislocación cosísmica.

Fase de propagación del tsunami

Un tsunami puede propagarse a través de grandes distancias antes de embestir la costa a cientos o miles de kilómetros del punto de origen del tsunami. El disturbio inicial en la superficie del agua engendra una onda de gravedad de gran amplitud que se propaga hacia las costas (véase Figuras 6 y 7).

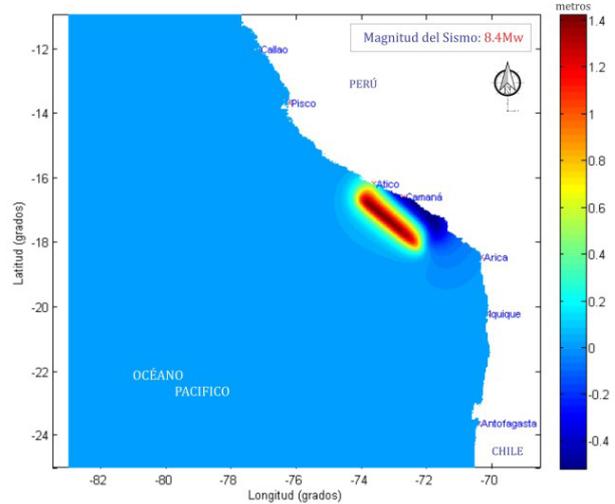


Figura 6. Momento en que se produce el sismo.

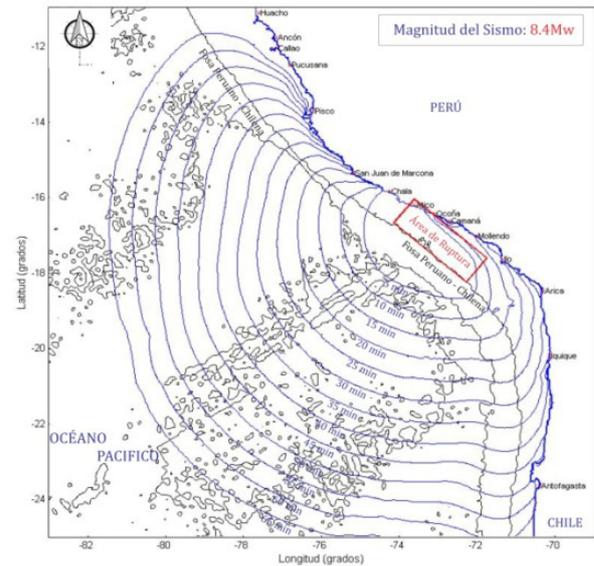


Figura 7. Mapa de tiempo de arribo.

Fase de inundación

La altura alcanzada por el tsunami al arribar a la costa se debe a la interacción de varios factores físicos y morfológicos tales como: características de las ondas en mar abierto, batimetría, pendiente del fondo marino, configuración del contorno de la costa, difracción, refracción, reflexión, dispersión y la resonancia de las ondas en las distintas formaciones costeras, entre otros. Estos factores determinan que el arribo del tsunami a la línea costera sea un proceso complejo, lo cual genera diferencias notables de altura máxima de inundación (*run-up*), aún a cortas distancias a lo largo de ella.

En la Figura 8 se puede observar que la máxima altura de la ola (según el modelo) en la línea de costa fue de 8 m en la posición correspondiente a los -72.76° de longitud (correspondiente al delta del río Camaná). Para el valle de Camaná la máxima altura de la ola es de 5 metros.

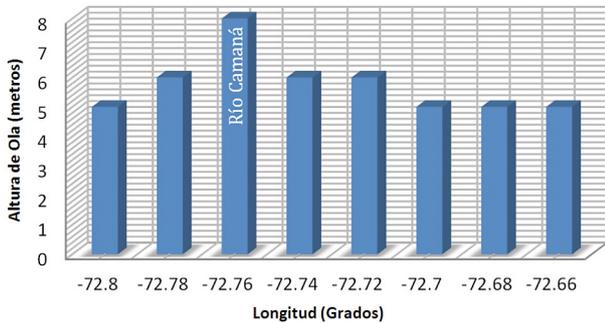


Figura 8. Máxima altura de la ola a lo largo de la costa.

En la Figura 9, se observa el mapa de inundación por tsunami propuesto en este estudio para la zona de Camaná. La estrecha franja correspondiente al balneario costero (zona izquierda) se inunda totalmente, teniendo como límite la carretera Panamericana Sur y los cerros adyacentes. La distancia de máxima inundación horizontal es alrededor de 1,4 km en la zona cercana al distrito de Camaná y de 1,6 km en el cauce del río. La Figura 10 muestra el mapa en la cual se ha trazado la inundación observada, se aprecia que el modelo concuerda con bastante aproximación con la observación in situ, lo cual valida lo propuesto en este estudio.

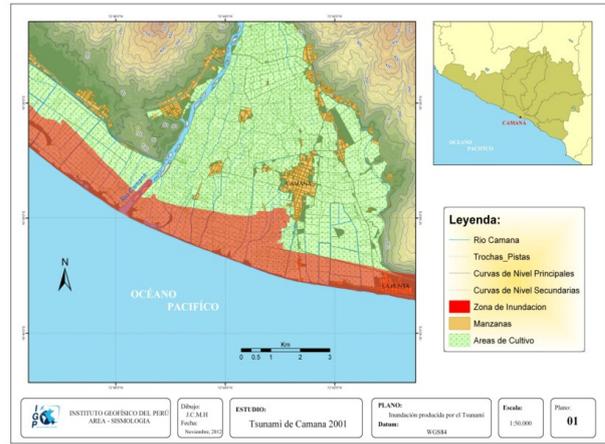
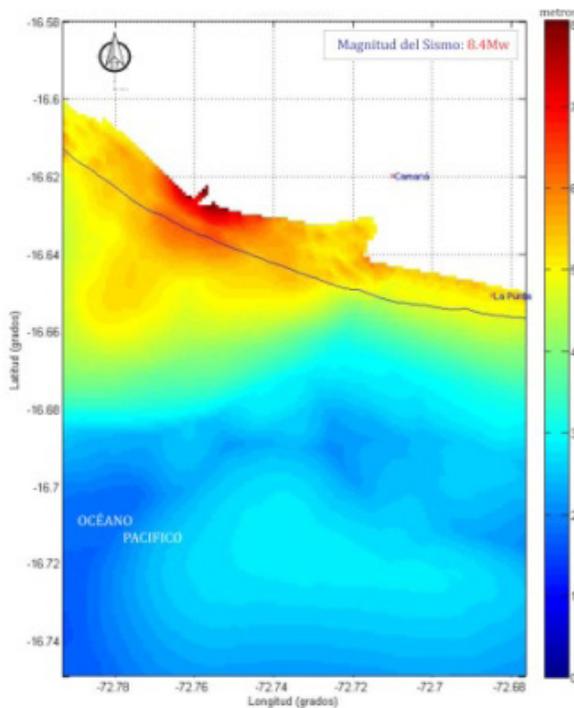


Figura 9. Mapa de inundación según el presente modelo.

Relevancia del resultado y su aporte a la realidad nacional, regional o local

El estudio de los tsunamis es básico para comprender y evaluar el peligro, la vulnerabilidad y el riesgo al que están expuestas las localidades costeras. Si bien es cierto, con respecto al riesgo por tsunami, las autoridades se basan en las cartas de inundación, como medida de prevención, las cuales son muy útiles para estimar el máximo desplazamiento en tierra de un tsunami pero son desarrolladas a escala regional, departamental mas no a una escala menor, por ende carecen de un análisis de áreas específicas, de cómo afectaría un tsunami a un determinado ente localizado, en este caso la desembocadura y cauce de un río, con lo cual, se demostró que las consecuencias de una mayor o menor inundación por el cauce de un río debe ser analizada independientemente debido a la gran diversidad de estos a lo largo de la costa peruana.

Conclusiones

- ♦ El balneario costero de la ciudad de Camaná está en una zona vulnerable ante la ocurrencia de tsunamis, lo cual significa que en el futuro puede ocurrir un evento similar al de 2001, debido a la ciclicidad de estos eventos.
- ♦ Para un tsunami de origen local, el tiempo de arribo de la primera ola será de alrededor de 10-15 minutos, lo cual proporciona poco tiempo para realizar una evacuación. Sin embargo, no siempre la primera ola es la más destructiva.
- ♦ La máxima altura de inundación oscilo entre 7-8 m, lo que implica que algunos lugares, como el balneario costero, serían zonas potencialmente inundables.
- ♦ Las autoridades correspondientes deben elaborar planes para la mitigación de desastres en el caso de un terremoto y tsunami.

Bibliografía

- CARPIO, J., ZAMUDIO Y. (2002). Características Generales del Tsunami asociado al Terremoto de Arequipa del 23 de junio de 2001 (Mw=8.2). Terremoto de la Región Sur del Perú del 23 de junio de 2001, pp. 121-128.
- PAPAZACHOS B. (2004). Global relations between seismic fault parameters and moment magnitude of Earthquakes. Bulletin of the Geological Society of Greece, xxxvi: 1482-1489.
- OKAL E., DENGLER L. (2002). Field Survey of the Camaná, Peru Tsunami of 23 June 2001. Seismological Research Letters, 73(6): 907-920.
- KULIKOV E., RABINOVICH A., THOMSON R. (2005). Estimation of Tsunami Risk for the Coasts of Peru and Northern Chile. Natural Hazards, 35: 185-209.
- TALANDIER J. (1993). French Polynesia Tsunami Warning Center (CPPT). *Natural Hazards and Earth System Sciences* 7: 237-256.
- ADRIANO B. y KOSHIMURA S. (2012). Source Inversion and Inundation Modeling Technologies for Tsunami Hazard Assessment, Case Study: 2001 Peru Tsunami. The International Symposium for CISMID 25th Anniversary. Paper n.º TS-4-1.